

VŠB – Technická univerzita Ostrava

**Fakulta elektrotechniky a
informatiky**

Katedra Elektrotechniky

Výpočet tepelné sítě rozváděče vn

Calculation warming switchboard MV

2015

Marek Štefanov

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Štefanov**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Výpočet oteplení rozváděče vn**
Calculation warming switchboard MV

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte teoretický rozbor problematiky oteplení a ztrát v zařízení vn.
2. Popište stávající provedení rozváděče Unigear ZS1.
3. Realizujte počítačový model pro tepelný výpočet s možnými upravami.
4. Rozeberte dosažené výsledky a porovnejte s klasickým tepelným výpočtem, včetně experimentálně získaných hodnot.

Seznam doporučené odborné literatury:


Artbauer, O.: Tepelný výpočet elektrických přístrojů, Bratislava, SVŠT 1963
Vávra, Z., Novotný, V., Vostracký, Z.: Stavba elektrických přístrojů II., Brno, VUT 1985
Havelka, O.: Stavba elektrických přístrojů I., Brno, VUT 1984
Katalog firmy ABB – rozváděč Unigear ZS1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne.....7.5.2015.....

Podpis autora.....*Stelano*.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za pomoc při řešení diplomové práce a za informace, motivaci a užitečné rady do života. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petrovi Kačorovi, Ph.D. za rady a pomoc se softwarovým prostředím.

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší rozbor problematiky oteplení a ztrát v zařízení vn. Dále řeší výpočet tepelné sítě rozváděče typu UniGear ZS1 a porovnání výsledů výpočtu s experimentálně získanými hodnotami. Popisuje použití a vlastnosti rozváděče, elektrické i neelektrické. Další část práce řeší vytvoření modelu rozváděče v programu Solidworks a importování do prostředí programu ANSYS, kde byl proveden výpočet. Výpočet je porovnaný s experimentálně získanými hodnotami. Vytvořená simulace umožňuje, změnou nastavených parametrů, pozorovat změny oteplení a teplot.

Klíčová slova

rozdávěč; Unigear; teplo; oteplení; elektrické ztráty; modelování; simulace; tepelný výpočet; zařízení vn;

Abstract

This thesis solves the analysis of problems with temperature rise and loss in MV units. Furthermore, it solves calculation of a heat network within switchboard type UniGear ZS1 and its comparison with the experimental result calculations. It describes the electrical and non-electrical characteristics of the switchgear and its use in operations. Another part of the thesis solves the creation of a switchboard model in the SolidWorks software and its importing into the ANSYS program, where the values are calculated. The calculation is compared with the experimental results. Created simulation allows to observe the changes in temperature and temperature rise by changing the input parameters.

Key words

Switchboard; Unigear; heat; temperature rise; power loss; simulation; thermal calculation; MV units;

Seznam použitých symbolů a zkratek

ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
I_n	jmenovitý proud
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	krytí
P	výkonové ztráty
SF ₆	fluorid sodný
VN	vysoké napětí
λ	součinitel tepelné vodivosti
α	součinitel přestupu tepla z jednoho prostředí do druhého
ρ	hustota
σ	teplo vyvíjené v jednotce objemu za jednotku času
Δ	rozdíl

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Teplo	2
2.1.	Způsob šíření tepla	2
2.1.1.	Šíření tepla vedením (difuzí)	3
2.1.2.	Šíření tepla prouděním (difúzně-konvenční)	3
2.1.3.	Sálání	3
3.	Oteplení a ztráty v elektrických zařízeních	4
3.1.	Základní jevy a vztahy	4
3.2.	Dovolené velikosti teplot a oteplení	7
3.2.1.	Ustálený stav	7
3.2.2.	Krátkodobá teplota	8
3.3.	Tepelné ztráty	8
3.3.1.	Ztrátový výkon	8
3.3.2.	Odpor vodiče	9
3.3.3.	Povrchový jev	10
3.3.4.	Jev blízkosti	11
3.3.5.	Odpor styku	11
3.4.	Princip tepelné sítě	12
3.4.1.	Dílce beze ztrát	13
3.4.2.	Dílce se ztrátami	13
3.4.3.	Sestavování tepelné sítě	14
4.	Rozváděčové systémy	15
4.1.	Rozváděče vn	15
4.2.	Druhy a použití	16
4.2.1.	Otevřené provedení	16
4.2.2.	Kovově kryté provedení	16
4.2.3.	Izolačně kryté provedení	16
4.2.4.	Zapouzdřené provedení	16
4.3.	Požadavky na rozváděč	16
4.3.1.	Maximální dovolené oteplení	17
5.	UniGear ZS1	20
5.1.1.	Popis	20
5.2.	Použití	20

5.3.	Jmenovité hodnoty	20
5.4.	Vlastnosti řešení	22
5.5.	Prostory	22
5.5.1.	Hlavní přípojnice.....	23
5.5.2.	Připojení kabelů.....	23
5.5.3.	Uzemňovač.....	23
5.5.4.	Uzemňovací sběrna	24
5.5.5.	Izolační průchodky a uzavírací clony.....	24
5.5.6.	Kabely	24
5.5.7.	Kanál pro výfuk plynu.....	24
5.6.	Typové zkoušky rozváděče	25
5.6.1.	Krátkodobý a dynamický (rázový) zkušební proud	25
5.6.2.	Zkouška oteplení	25
5.6.3.	Izolační zkoušky.....	25
5.6.4.	Spínací a vypínací schopnosti vypínače	25
5.6.5.	Spínací schopnost uzemňovače	25
6.	Modelování rozváděče	26
7.	Výpočet tepelné sítě rozváděče	30
7.1.	Příprava pro výpočet tepelné sítě	30
7.1.1.	importování geometrie rozváděče, definování materiálů	30
7.1.2.	Vytvoření výpočetní sítě	31
7.1.3.	Výpočet tepelné sítě rozváděče	32
7.1.4.	Odvod tepla do okolí	32
7.2.	Tepelný výpočet	32
7.2.1.	Počáteční podmínky	32
7.2.2.	Výsledky simulace oteplení proudovodné dráhy	33
8.	Porovnání vypočítané tepelné sítě s reálnými teplotami	37
9.	Závěr	40
	Literatura.....	41

1. Úvod

Dnešní člověk si již nedovede představit život bez elektrické energie, proto je výroba, rozvod a distribuce energie velice důležitá. Rozváděč je důležitým článkem mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Rozváděče musí být spolehlivý a bezpečný, aby nedošlo k přerušení tohoto řetězce. Výrobci se snaží své výrobky stále zlepšovat, vtom jim pomáhají rychle rozvíjející se výpočetní technologie. Výpočetní technologie při správném použití mohou zjednodušit a zlepšit návrh výrobků. U nově vyvíjených zařízení můžeme pomocí patřičného počítačového modelu pozorovat jeho funkci a zjistíme určité nedostatky, aniž by byla nutná výroba prototypu. Tímto dojde k ekonomické úspoře. Moderní výpočetní technologie udělala za poslední desetiletí obrovský pokrok, ale stále se jedná jen o pouhé stroje ovládané programem. Počítač nám nasimuluje cokoliv, co si budeme přát, ale nemusí to být reálně možné. Je důležité porozumět problémům, které chceme řešit. Teprve až s pochopením problému a s určitou úrovní vědomostí jsme schopni tuto moderní technologii využít k získání správných výsledků. Vhodným využitím výpočetních programů můžeme zefektivnit a zkvalitnit návrh a výrobu nových i stávajících zařízení.

Tato diplomová práce je tematicky rozdělena do tří částí. První část práce je zaměřena na podstatu tepla a jeho šíření. Dále se zabývá oteplením a ztrátami v elektrických zařízeních, principem a sestavením tepelné sítě. Druhá část práce je zaměřena na rozváděčové systémy, jejich druhy a použití. Popisuje rozváděč typu UniGear ZS1. Poslední část práce je věnována modelování rozváděče, sestavení tepelné sítě, tepelným výpočtem a v poslední řadě porovnání a zhodnocení dosažených výsledků.

2. Teplo

Teplo je termodynamická proměnná, kterou vyjadřujeme přírůstek nebo úbytek vnitřní energie soustavy, pokud tato energie nevykonává práci a pokud v soustavě neprobíhají chemické reakce a změny skupenství. Jedná se o část vnitřní energie soustavy, která se prostřednictvím mikrofyzikálních interakcí může vyměňovat s okolím. Teplo jako forma přenosu energie je vyjádřením působení neusměrněných mikroskopických sil. Není tedy stavovou veličinou, závisí totiž na způsobu vzájemné interakce soustavy s okolím. [1]

2.1. Způsob šíření tepla

Přenos tepla (energie) prostředím je realizován částicemi, které se v daném prostředí vyskytují, ale mají vyšší energii než částice v jejich blízkosti, nebo se do daného prostředí dostanou z okolí. Z toho důvodu jsou druh, rychlost a způsob pohybu částic odlišné a závisí na typu prostředí. Tyto částice přenášející teplo mohou být elementární částice (elektrony, atomy), ale i elektromagnetické vlny, které přenášejí energii pomocí fotonů. Existují dva způsoby pohybu částic a závisí na koncentraci látkových částic v daném prostředí. [1]

První způsob se hlavně uplatňuje v prostředích s vysokou koncentrací částic pevného nebo kapalného skupenství. Částice, které se pohybují proti gradientu hustoty energie, jsou v neustálém kontaktu s ostatními částicemi prostředí. Tuto neustálou interakci částic nazýváme difúzí. Jedná se o přirozený přenos tepla s místa s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou. Energie je odevzdávána neustálými srážkami částic. Další variantou je přenos tepla v proudících kapalinách, kde k přenosu energie difúzí se ještě vyskytuje přenos energie hmotností prostředí. Označujeme jej za způsob přenosu tepla difúzně-konvenční a je závislý na rychlosti proudění tekutin. [1]

Druhým způsobem přenosu energie je přenos zářením. Tento způsob se převážně vyskytuje v prostředích s nízkým obsahem částic. (vakuum) [1]

2.1.1.Šíření tepla vedením (difúzí)

Vedení tepla je jeden ze způsobů šíření tepla v tělesech, při kterém si část své pohybové energie předávají pomocí nárazů sousední částice těles. Vedení tepla je nejčastější způsob šíření tepla v pevných tělesech, podle rychlosti vedení tepla se pevné látky dělí na tepelné vodiče a tepelné izolanty [1]

2.1.2.Šíření tepla prouděním (difúzně-konvenční)

Jedná se o takový způsob přenosu tepla, který je vázaný na přenos hmoty o určité vnitřní energii z jednoho místa na druhé. Nejedná se úplně tak o přenos teple, ale o přenos hmoty, na kterou je teplo vázané. Tento pohyb je zapříčiněn buď gradientem teploty (přirozená konvence) nebo vnějším působením. (nucená konvence) [1]

2.1.3.Sálání

Přenos energie sáláním je odlišný od přenosu vedením a prouděním. Přenos energie je realizován pomocí elektromagnetických vln v celém rozsahu vlnových délek. Elektromagnetické vlnění vytváří každé neprůzračné těleso o teplotě větší než 0 K a zároveň záření pohlcuje. Záření můžeme rozložit na jednotlivé složky, které odpovídají jednotlivým vlnovým délkám. Můžeme tak získat vyzařovací spektrum. Na těleso zároveň dopadá tepelný tok ostatních těles v prostoru. Těleso se ohřeje jen tehdy, přijme-li více energie než samo vyzařuje. Množství vyzařené energie je úměrné aktivní ploše tělesa a čtvrté mocnině jeho termodynamické teploty. Je dále závislé na charakteru povrchu tělesa.(barva, drsnost) [1]

3. Oteplení a ztráty v elektrických zařízeních

V každém elektrickém zařízení dochází ke ztrátám elektrické energie. Tyto ztráty mají za následek vzniku tepla, které přístroje ohřívá. Rozlišujeme různé druhy ztrát. Průchodem elektrického proudu vzniká Jouleovo teplo. Toto teplo vzniká i na sepnutých kontaktech, kterými prochází elektrický proud. Při vypínání a zapínání kontaktů dochází ke vzniku elektrického oblouku. Hořením elektrického oblouku dochází k uvolňování dalšího tepla. Elektrický oblouk vzniká i při přeskočení na izolaci. Nachází-li se v blízkosti vodiče s protékajícím střídavým proudem železná součást přístroje. Dochází ke vzniku tepla vířivými proudy a magnetickou hysterezi. Další ztráty vznikají i na izolaci, která je pod napětím. [2]

Ztráty můžeme posuzovat podle doby trvání. Trvalé ztráty vznikají při zatížení přístroje jmenovitým proudem nebo menším jak jmenovitý proud. Krátkodobé ztráty vznikají zkratovými proudy a elektrickým obloukem. [2]

U většiny přístrojů jsou ztráty nežádoucí. Některé přístroje využívají ztrát ke své funkci. Například vypínače. Ztráty při trvalém zatížení nesmí být příliš vysoké. Protože by provoz tohoto přístroje byl velice nevhodný. Oteplení přístrojů nesmí být příliš vysoké, aby se nepoškodili. S rostoucí teplotou se mění vlastnosti materiálů, rozměry součástí, dochází k povrchové oxidaci a degradaci izolace. [2]

3.1. Základní jevy a vztahy

Teplo vznikající elektrickým proudem ve vodiči se z části spotřebuje na zvýšení teploty vodiče, zbylá část energie se předává jeho povrchem do okolí. Budeme-li uvažovat úsek dlouhého vodiče konstantního průřezu S , kterým protéká stejnosměrný proud konstantní velikosti I . Bude tento jev charakterizovat rovnice 3.1 [3]

$$qV \cdot dt = cV \cdot d\theta + \alpha_0 P \theta \cdot dt \quad (3.1)$$

V rovnici značí q [$\frac{W}{m^3}$] tepelné ztráty v jednotce objemu; V [m^3] objem vodiče; t [s] čas, c [$\frac{W \cdot s}{m^3 K}$] měrné teplo objemové materiálu vodiče; P [m^2] povrch vodiče, ze kterého přestupuje teplo do okolí; θ [K] oteplení tohoto povrchu proti okolí; α_0 [$\frac{W}{m^2 K}$] součinitel přestupu tepla, nebo

jinak nazývaná měrná chladivost povrchu. První člen rovnice $qV \cdot dt$ představuje teplo, které se ve vodiči uvolňuje během časového okamžiku dt . Další člen rovnice $cV \cdot d\theta$ představuje teplo, které se spotřebuje na zvýšení teploty vodiče o elementární hodnotu $d\theta$ a poslední člen $\alpha_0 P \theta \cdot dt$ označuje teplo, které se během téhož časového okamžiku předá do okolí. [3]

Řešením rovnice 3.1 získáme vztah pro průběh nárůstu teploty vodiče

$$\theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (3.2)$$

Křivka průběhu oteplování má exponenciální charakter, která má počáteční hodnotu nulovou a narůstá stále pomaleji, až se teoreticky za nekonečnou dobu $t=\infty$ ustálí na maximální hodnotě oteplení θ_m . Časovou konstanta τ je určena poměrem

$$\tau = \frac{cV}{\alpha_0 P} \quad (3.3)$$

jedná se o dobu, za kterou by vodič dosáhl maximální oteplení θ_m , kdyby se všechno uvolněné teplo spotřebovalo jenom na zvýšení teploty.

Dojde-li k ustálenému stavu průtokem dlouhodobého konstantního proudu vodičem, jeho teplota se již nebude zvyšovat.

$$\frac{d\theta}{dt} = 0 ; \quad \theta = \theta_m$$

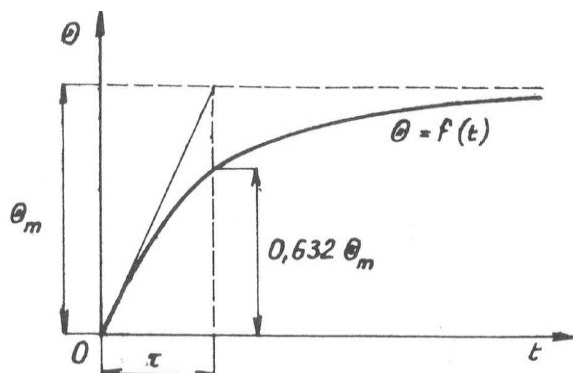
Rovnice 3.1 získáme tvar

$$qV = \alpha_0 P \theta \cdot dt$$

Ve vodiči nastala tepelná rovnováha, všechno vznikající teplo se předává jeho povrchem do okolí.

$$\theta_m = \frac{qV}{\alpha_0 P} \quad (3.4)$$

Člen qV představuje součet všech ztrát v uvažovaném úseku vodiče.



Obr. 3-1 Oteplovací křivka

Může dojít k poruše elektrického zařízení, při které může dojít ke krátkodobému namáhání větším proudem než jmenovitým. Pokud se jedná o čas kratší jak $0,2\tau$, můžeme zanedbat odvod tepla z místa vzniku do jeho okolí. Pro tento příklad dosadíme do rovnice 3.1 $\alpha_0 = 0$ a integraci $t=0$; $\theta=\theta_k=0$ získáme vztah [3]

$$qVt = cV\theta_k \quad (3.5)$$

Velikost proudu se může během intervalu $t=t_k$ měnit, proto musíme postupovat obecněji.

$$qVt_k = R \int_0^{t_k} i^2 \cdot dt = cV\theta_k \quad (3.6)$$

Když je doba trvání náhlé změny proudu přechodného jevu zanedbatelná proti době t_k , můžeme zapsat rovnici 3.6 jako

$$qVt_k = RI^2 t_k = cV\theta_k$$

po úpravě získáme

$$\theta_k = \frac{RI^2}{cV} t_k \quad (3.7)$$

3.2. Dovolené velikosti teplot a oteplení

3.2.1. Ustálený stav

Bezpečnost, funkční spolehlivost provozu a životnost zařízení nám stanovují přípustnou velikost trvalého oteplení proudovodných drah. Tepelným působením dochází k nepřipustným změnám na vodiči i v jeho okolí. Vodiči se mohou změnit rozměry, pevnost a další. Izolaci se vlivem teploty změny její fyzikální parametry jak mechanické tak elektrické. Všechny tyto změny vyvolané teplotou snižují celkovou životnost elektrického přístroje. Čím je teplota vyšší tím je degradace materiálu rychlejší. Teplota izolace, při které se zásadně mění vlastnosti, bývá příliš nízká, než aby došlo k ohrožení kovových částí. Proto je maximální oteplení limitované použitými izolačními materiály. [3]

Izolanty jsou členěny do sedmi tříd podle velikosti trvalé přípustné teploty. Teploty tříd jsou stanoveny tak, aby životnost elektrického zařízení byla vyhovující. Životnost materiálu označujeme dobu, za kterou vlastnosti materiálu změny na krajní přípustný stav, při kterém ještě nedochází k poruše zařízení, umístěného v normálním prostředí a trvale zatíženo danou teplotou v nejteplejším místě. Změnou teploty se mění i životnost, proto už při návrhu zařízení ji můžeme upravovat, aby byla hospodárná. Hospodárnou životností je označována krajní doba, během které zařízení vyhovuje požadavkům, které jsou na něj kladeny. [3]

Měřením provedeným v rozmezích stálých teplot 90°C až 110°C byla idealizována závislost doby životnosti \check{Z} (roky) na teplotě T (°C) exponenciálním vztahem. Tento vztah se nazývá Montsingerovým zákonem. [3]

$$\check{Z} = a \cdot e^{-bT} \quad (3.8)$$

Materiálové konstanty jsou označeny „a“ a „b“.

3.2.2. Krátkodobá teplota

Krátkodobá teplota, která může elektrické zařízení krátkodobě dosáhnout, je vyšší jak maximální dovolená trvalá teplota. Krátkodobá teplota nesmí svým působením ohrozit materiál vodiče a izolačních částí. Nesmí být opomenuta i doba poklesu teploty při ochlazování. Maximální krátkodobá teplota je omezena bodem, při kterém nastává pokles mechanické pevnosti. Mechanická pevnost v tahu by neměla klesnout pod 80%, tato teplota se udává většinou jako nejvyšší přípustná teplota při zkratech. U měděných dílců a dílců z barevných kovů, které se nestýkají s organickou izolací nebo olejem je 300°C. Krátkodobá teplota hliníkových dílců by neměla překročit 200°C a ocelových dílců 400°C. U kontaktů se tato teplota neurčuje. Kontakty se nesmějí při průchodu nadproudu nebo zkratu svařit nebo jinak porušit. Když se vodič dotýká izolace, pak maximální dovolená krátkodobá teplota při zkratu je omezena tepelnou odolností izolantu. [3]

3.3. Tepelné ztráty

3.3.1. Ztrátový výkon

Průtokem elektrického proudu vodičem dochází ke změně části energie v teplo. Velikost změněné energie v teplo je dána součinem čtverce okamžité velikosti proudu i a velikosti odporu R . Teplo uvolněné za jednotku času (1 sekundu) je ztrátový výkon vodiče. [3]

$$P = \int_0^1 R \cdot i^2 dt \quad (3.9)$$

Pokud se nebude měnit velikost proudu i a velikost odporu R za jednotku času, můžeme napsat ve tvaru.

$$P = RI^2 \quad (3.10)$$

Jedná-li se o střídavý proud periodicky se měnící, můžeme dosazovat jeho efektivní hodnotu I , když je doba půlperiody jeho kmitu obecně alespoň rovna časové jednotce. Přesnost výpočtu podle vzorce 3.10 bude přesnější, čím větší počet půlvln bude obsazen v jednotce času. U průmyslové frekvence 50Hz a jednotky času 1s je podmínka dobře splněna. Bude-li se však velikost proudu měnit neperiodicky, musíme použít rovnici 3.9 a použít proud i ve tvaru [3]

$$i = I_m \left[\sin(\omega t + \psi) - \sin\psi \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \right] \quad (3.11)$$

3.3.2. Odpor vodiče

Druhým parametrem ve vztahu pro ztrátový výkon P je odpor vodiče R . Jeho velikost udáváme v ohmech $\Omega = V/A$. Někdy se používá převrácená hodnota odporu tedy vodivost G s rozměrem $1/\Omega = S$. [3]

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.12)$$

Elektrický odpor, jako vlastnost materiálu je veličina proměnná. Závisí na hodně vlivech, hlavně na teplotě. Teplotní závislost měrného odporu pro různé materiály je rozličná. U kovových vodičů měrný odpor s teplotou roste na rozdíl u polovodičů a izolantů zde zpravidla klesá. Se změnou teploty se mění střední volná dráha volných elektronů v látce. Při vyšší teplotě jsou rozkmity kladných iontů mřížky kovů větší. Tím dojde ke zvýšení pravděpodobnosti srážek volných elektronů s těmito ionty. Větším počtem srážek se zkrátí dráha mezi dvěma srážkami a intenzivněji se předává energie proudového pole iontům prostřednictvím elektronů. Častými srážkami se často mění dráhy elektronů, tím dochází ke snížení rychlosti posuvného pohybu elektronů a ke zmenšení proudu. [3]

$$\rho = \rho_r (1 + \alpha \Delta T) \quad (3.13)$$

Ve vzorci ρ_r znamená měrný odpor při zvolené referenční teplotě T_r . Koeficientem α nazýváme teplotní součinitel odporu, protože udává poměrný přírůstek odporu při zvýšení teploty o 1K oproti teplotě T_r . Tento vztah neplatí pro velmi nízké teploty, kdy u řady kovů vzniká supravodivost, kde odpor klesne strmě na zanedbatelnou hodnotu a v oblasti teplot tavení, když se mění skupenství z pevné fáze na tekutou. [3]

Sloučením vzorců 3.12 a 3.13 získáme výsledný vzorec pro výpočet odporu tyče s konstantním průřezem. [3]

$$R = \rho_r (1 + \alpha \Delta T) \frac{l}{S} = R_r (1 + \alpha \Delta T) \quad (3.14)$$

3.3.3. Povrchový jev

Průchodem střídavého proudu, se v prostoru, ve kterém se vodič nachází, dochází k vytváření proměnného magnetického pole. Toto magnetické pole zpětně působí na vodič. Indukuje v něm nové elektromotorické napětí s opačnou fází. Dochází k indukovaní proudu fázově posunutému oproti prvotnímu proudu. Výsledná velikost proudu obvodu se vytváří součtem indukovaného a prvotního proudu. [3]

Účinkem magnetického pole střídavého proudu je samoindukce způsobující reaktanční úbytek napětí, zmenšení proudu obvodu a jeho fázový posun oproti napětí zdroje. Časově proměnné pole indukuje v okolních částech vodiče napětí, které způsobuje vznik vířivých proudů opačné fáze, vyvolávajících další ztráty. Tyto vířivé proudy se sčítají se základním proudem vodiče. Tímto dochází k nerovnoměrnému rozložení proudové hustoty. Tomu jevu se říká povrchový jev nebo skinefekt. Vytlačováním proudu magnetickým polem ke kraji vodiče dochází k zmenšování efektivního průřezu a toto má za následek zvětšování jeho elektrického odporu. [3]

Povrchový jev interpretujeme do vzorce 3.14 pro velikost odporu vodiče přiřazením koeficientu k_s [3]

$$R = k_s \rho \frac{l}{S} = k_s \rho_r (1 + \alpha \Delta T) \frac{l}{S} \quad (3.15)$$

Při posuzování, zda je při výpočtu odporu vodiče nutno uvažovat s vlivem skinefektu a jaké je využití materiálu při jeho vlivu, použijeme hloubku vniku δ [3]

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f\mu}} \quad (3.16)$$

3.3.4. Jev blízkosti

Rozdělíme-li při velkém jmenovitém proudu vodič na dvě paralelní větve, chovají se do jisté míry jako jeden vodič. Jejich magnetické pole vytlačují proud směrem k povrchu podobně jako sloučený vodič. Vlákná na vnitřních stěnách děleného vodiče jsou spřažena s větším magnetickým tokem vybuzeným sousedním vodičem než vlákna na vnějších stěnách. Důsledkem tohoto jevu vykazují větší impedanci a menší hustotu proudu. Jev blízkosti interpretujeme koeficientem k_b . [3]

$$R = k_s k_b \rho \frac{l}{S} = k_s k_b \rho_r (1 + \alpha \Delta T) \frac{l}{S} \quad (3.17)$$

3.3.5. Odpor styku

Typickým úsekem proudovodné dráhy, která je zdrojem relativně velkých ztrát, na dráze zanedbatelné délky, je kontaktní styk. Může se jednat o styk pracovní, u kterého je kontaktní přítlak vyvozován pružinami nebo styk trvalý, při kterém jsou vodiče spojeny šrouby. [3]

$$R_s = k \cdot F^{-n} \quad (3.17)$$

Materiálovou konstantu k , volíme podle použitého kovu. Materiálová konstanta pro určitý kov je v určitém rozsahu. Dolní meze rozsahu volíme u kontaktů minimálně korodované. To jsou kontakty nacházející se v ochranném prostředí (olej, SF6), nebo opakovaně smykovým spínacím pohybem stále čištěny. Horní hodnoty aplikujeme na kontakty čelní, jen občasně spínané, nacházející se ve zhoršené atmosféře (exhalace, vysoká relativní vlhkost, zvýšená teplota). U kontaktů jenž jsou tvořeny různými kovy, používáme aritmetický průměr materiálových konstant obou kovů. [3]

Tab. 3-1 Materiálové konstanty kontaktů

Materiál kontaktu	k
Stříbro - stříbro	$3 \cdot 10^{-4}$ - $6 \cdot 10^{-4}$
Měď - měď	$6 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-3}$
Hliník - hliník	$9 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$
Měď - hliník	$5 \cdot 10^{-3}$ - $1,5 \cdot 10^{-2}$

Exponentem n určujeme druh styku. Pro bodový styk a čelní kontakty v přímkovém dotyku používáme $n = 0,5$. Při přímkovém dotyku třecích kontaktů volíme $n = 0,7$ až $0,8$. Pro plošný kontaktní styk $n = 1$. [3]

Při zkratech a nadproudech se velikost stykového odporu mění složitěji, než udává vztah 3.17. Při určité zvýšené teplotě dochází k mechanickému poklesu pevnosti kovu z důvodu rekystalizace kovové mřížky. Tím dojde k zvětšení stykové plošky a to má za důsledek poměrně rychle zmenšení stykového odporu. Tato změna u různých kovů při různé teplotě T_m . Tato teplota je však charakteristická pro daný materiál. [3]

3.4. Princip tepelné sítě

Spínací přístroje nebo jiné elektrické zařízení si můžeme představit jako soubor různých těles, z nichž jen v některých vzniká teplo. Toto teplo proudí z místa vzniku do sousedních těles a přes ně prostupuje až k rozhraní mezi souborem těles a vnější atmosférou. Tímto rozhraním, chladícím povrchem, se předává do prostoru. Řada na sebe navazujících kovových těles se vyznačuje tím, že se určitá část tepla, která proudí ve směru teplotního gradientu tělesa, odvádí jeho povrchem do okolí. Důsledkem toho, teplo vystupující z kovového tělesa ve směru teplotního gradientu je menší než součet tepla do tělesa vstupujícího a v tělese vznikajícího. Proto je obecně výpočet oteplení jednotlivých dílců složitějšího elektrického zařízení obtížné, protože se vytváří řada tepelných toků, různým způsobem se dělících, rozvětvujících a překrývajících, [3]

Metodou vhodnou pro výpočet oteplení dílců je metoda tepelných obvodů, při kterých používáme postupů analogických s řešením rozvětvené elektrické sítě. Řazením dílčích tepelných zdrojů a odporů za sebou nebo vedle sebe vytvoříme odpovídající tepelnou síť. Tepelně složitější tělesa vkládáme do sítě pomocí jejich individuálních náhradních schémat. Řešením celé sítě můžeme určit odpovídající oteplení jednotlivých míst. [3]

Tepelné sítě některých přístrojů jako jsou transformátory nebo elektromotory, mají charakter mřížových sítí. Mohou být tak složité, že bychom je bez určitých úprav sotva vyřešili. Vycházíme ze zjednodušujícího předpokladu, že teplota kovových těles, v nichž teplo vzniká, je v celém jejich objemu stejná (určíme střední teplotu tělesa) a jejich tepelný odpor vzhledem

k velké tepelné vodivosti kovů je zanedbatelný. Tyto tělesa pak představují zdrojové body sítě, z kterých teplo odtéká i několika cestami k povrchu přístroje. [3]

U spínacích přístrojů proudovodná dráha mívá zpravidla podobu podlouhlého, tvarově různorodého vodiče. Proudovodné dráhy jednotlivých pólů trojfázových vypínačů má vyšší napětí kvůli izolačním vzdálenostem. Mají větší pólové rozteče odděleny takovou vrstvou vzduchu, že se navzájem neovlivňují, nebo rozdíly v chlazení středního pólu oproti krajním pólům bývá malé a většinou zanedbatelné. Sestavujeme proto tepelnou síť pro jednu fázi a tato tepelná síť má charakter jednořadové sítě. Většina úseků proudovodné dráhy tvoří tyče, jimiž čistě tepla protéká ve směru jejich osy do sousedního dílce a část tepla se odvádí do okolí jejich povrchem. Zavádíme je do tepelné sítě odpovídajícími náhradními schématy. Výhodou jednořadové tepelné sítě je možnost jejich přímého početního řešení. Lze aplikovat při dodržení určitých zásad i pro vícepólové spínače nízkého napětí v kompaktním provedení. [3]

3.4.1. Dílce beze ztrát

Jedná se o dílce z homogenního materiálu o konstantním průřezu S , kterým ve směru jeho délky protéká tepelný tok Q . V tomto dílci žádné nové teplo nevzniká, ale část z tepla se odvádí jeho povrchem. Dílec představuje úsek tepelného pole. Tepelný tok mezi dvěma místy v takovém tepelném poli je vyvolán rozdílem jejich teplot (teplotním spádem). Velikost tohoto toku Q je přímo úměrná průřezu S , teplotnímu rozdílu obou míst $\theta = T_1 - T_2$ a nepřímo úměrná jejich vzdálenosti l . [3]

$$Q = \frac{\theta}{R_T} = \lambda \frac{S}{l} (T_1 - T_2) \quad (3.18)$$

3.4.2. Dílce se ztrátami

V těchto dílcích vzniká průchodem proudu v každé jednotce objemu teplo $q = q \cdot \delta^2$, pak v elementu tyče konstantního průřezu S vzniká teplo $qSdx$. Dojde ke zvýšení tepla přiváděného do elementu o toto množství. [3]

3.4.3. Sestavování tepelné sítě

Proudovodnou dráhu dělíme na dílčí úseky, tyto úseky pomocí příslušných náhradních schémat spojujeme v síť. Síť řešíme způsobem analogickým řešením elektrické sítě. Získáme oteplení uzlů sítě. (míst spojení dílčích schémat, která představují koncová místa jednotlivých úseků proudovodné dráhy). [3]

Tepelná síť elektrických přístrojů může být tvořena z osmi základních druhů prvků.

- Tyče beze ztrát konstantního průřezu. Holé charakterizované měrnou chladivostí povrchu α_0 , nebo izolované, pro které zjišťujeme náhradní chladivost α_{0n} . [3]
- Tyče beze ztrát mírně proměnného průřezu ($S=f(x)$). Holé (α_0), nebo izolované (α_{0n}). Zpravidla členěné na dva nebo více úseku konstantního (středního) průřezu. Do tepelné sítě je vkládáme odpovídajícím počtem π -článků. [3]
- Tyče beze ztrát, z kterých se jejich povrchem všechno vstupující teplo Q_1 předává do atmosféry. Jedná se o chladicí tyče nebo žebra, většinou holé málokdy izolované. [3]
- Tyče se ztrátami konstantního průřezu mohou být holé nebo izolované. Jejich náhradním schématem je π -článek. [3]
- Tyče se ztrátami mírně proměnného průřezu. Holé nebo izolované, rozdělujeme je na úseky konstantního (středního) průřezu podobně jako tyče bez ztrát.
- Kovové těleso neurčitého tvaru, všechny tři základní rozměry jsou stejné řádové velikosti, nebo je rozměr ve směru tepelného proudu menší než ostatní dva rozměry. Není možné jej charakterizovat žádným schématem. [3]
- Kontaktní styk. Kontaktní proudová úžina, ve které vzniká velké množství tepla, nemá skoro žádný chladicí povrch. [3]
- Tepelná síť spínacích přístrojů končící oboustranně přívody. I když přívody nejsou součástí vlastního přístroje musíme jejich tepelný vliv respektovat, jak při výpočtu, tak i při oteplovacích zkouškách. [3]

4. Rozváděčové systémy

Přístroje tvoří velice důležitou část elektrické rozvodné sítě, zabezpečují dodávku elektrické energie od zdrojů ke spotřebičům. Slouží ke spínání provozních i zkratových proudů, jištění a ochraně proti poruchovým stavům, zprostředkovávají měření a řízení. Velice zřídka se přístroje vyskytují jednotlivě, většinou jsou seskupeny do souborů tvořící uzlové body přenosné nebo distribuční sítě. Takové seskupení se označuje jako rozvodné zařízení, které je sestaveno ze spínacích přístrojů, přípojnic a pomocných měřících, ovládacích a řídicích zařízení. Pokud je nutné pro sestavení přístrojů zvláštní stavební provedení budovy, označuje se tento soubor názvem elektrická rozvodna. Její zařízení se montují přímo na místě z jednotlivých součástí nebo funkčních skupin. Pokud se konstrukční jednotka rozvodného zařízení s vestavěnými spínacími přístroji, přípojnicemi a pomocnými obvody vyráběna jako celek ve fabrice, označuje se jako rozváděč. [5]

4.1. Rozváděče vn

Obsahují soubor spínacích, ovládacích a měřících přístrojů, které můžeme rozdělit na primární a sekundární část. [5]

Primární obvody vn obsahují spínací a jistící přístroje (vypínače, odpínače, odpojovače, uzemňovače, zkratovače, stykače, pojistky, bleskojistky), přístrojové transformátory nebo převodníky proudu a napětí, přípojnice a spojovací vedení, výsuvné kontakty a spoje, vývodové díly (kabelové koncovky nebo průchodky). [5]

Sekundární obvody, především slouží k signalizaci, ovládání, blokování a případně automatickému řízení. Obsahují měřící přístroje pro místní měření, případně převodníky pro dálkové měření, ochranná a jistící relé. Dále další vybavení jako příslušenství pohonů. [5]

4.2. Druhy a použití

4.2.1. Otevřené provedení

Rozvodeny nebo rozváděče jsou přehledné a univerzální. Umožňuje uskutečnit libovolné zapojení obvodů a umístění jednotlivých součástí. Jeho nevýhodou je velký potřebný prostor, zvláštní stavební provedení budovy a značné nároky na dodržení vnitřních klimatických podmínek v budově rozvodny. Většinou je nutno montovat jednotlivé součásti až přímo na místě. [5]

4.2.2. Kovově kryté provedení

Vyrábí se a montuje přímo ve výrobním závodě a na místo určení se dodává ve vyzkoušeném stavu. Doba výstavby a uvádění do provozu je kratší a je omezen vliv montážních podmínek i lidského faktoru na výslednou spolehlivost zařízení. Používá se stavebnicové nebo jednoúčelové provedení jednotlivých částí. Má podstatně menší rozměry proti otevřenému provedení a menší nároky na stavební část. Většinou je určen pro vnitřní použití, jen výjimečně se staví pro venkovní provedení. Většinou je rozdělen na několik oddělených prostorů, které omezují šíření poruch a zajišťují bezpečnost obsluhy. [5]

4.2.3. Izolačně kryté provedení

Rozváděč se uplatní při miniaturizaci v zařízeních podružného rozvodu, umístěných v trafostanicích nebo přímo v provozu. V části styku s obsluhou se používají buď přídavné izolační kryty (princip dvojité izolace, provozní a ochranné), nebo kovové kryty. [5]

4.2.4. Zapouzdřené provedení

Rozváděč vyniká velou odolností proti vnějšímu prostředí, vysokou spolehlivostí provozu a minimální potřebou revizí. Používá se hlavně při uplatnění nových principů izolace a zhasnění oblouku, jako je použití fluoridu sírového nebo vakua. [5]

4.3. Požadavky na rozváděč

Konstrukční provedení rozvodných zařízení (rozvoden nebo rozváděčů) je určováno splněním následujících požadavků:

- Zabezpečení pracovních a poruchových režimů z hlediska izolačních vlastností, oteplení v trvalém i přechodném zatížení, zkratové odolnosti dynamické a tepelné, spínací vlastnosti použitých spínacích přístrojů, odolnost proti vlivům prostředí a spolehlivosti funkčních jednotek i celého systému.
- Koordinace vlastností jednotlivých dílů a součástí při jejich minimálním ovlivňování, hlavně mezi primárními a sekundárními obvody.

- Snadná obsluha a provádění revizí, včetně zajištění ochrany proti nebezpečnému dotyku a bezpečnosti obsluhy jak při normálním provozu, tak při poruchách a haváriích.
- Omezení nepříznivých vlivů na okolí a zabránění požárů nebo výbuchu, ochrana proti vnitřnímu obloukovému zkratu a omezení jeho účinků pouze na místo poruchy při udržení provozu dalších částí, možnost rychlé obnovy normálního stavu. [5]

4.3.1. Maximální dovolené oteplení

Oteplení jakékoliv části spínacího a řídicího zařízení při teplotě okolního vzduchu nepřesahujícího 40°C nesmí přesáhnout velikost oteplení podle tabulky Tab. 4-1

Tab. 4-1 Nejvyšší dovolené hodnoty teplot a oteplení pro části, materiály a izolace spínacích a řídicích zařízení

Části, materiály, izolace (viz body 1,2 a 3)	Nejvyšší hodnota	
	Teplota (°C)	Oteplení při nejvyšší teplotě okolního vzduchu 40°C (K)
Kontakty (viz bod 4)		
Z mědi a slitiny mědi		
Na Vzduchu	75	35
V SF ₆ (viz bod5)	105	65
V oleji	80	40
Postříbřené nebo poniklované (viz bod 6)		
Na vzduchu	105	65
V SF ₆ (viz bod5)	105	65
V oleji	90	50
Pocínované		
Na vzduchu	90	50
V SF ₆ (viz bod5)	90	50
V oleji	90	50
Šroubová nebo podobná spojení (viz bod 4)		
Z mědi, slitiny mědi nebo slitiny hliníku		
Na Vzduchu	90	50
V SF ₆ (viz bod5)	115	75
V oleji	100	60
Postříbřené nebo poniklované (viz bod 6)		
Na vzduchu	115	75
V SF ₆ (viz bod5)	115	75
V oleji	100	60
Pocínované		
Na vzduchu	105	65
V SF ₆ (viz bod5)	105	65
V oleji	100	60
Všechny ostatní kovové kontakty nebo spoje nepokovené a pokovené jinými materiály	(viz bod 7)	(viz bod 7)
Šroubové přívodní svorky (viz bod 8)		
Bez pokovení	90	50
Postříbřené, poniklované nebo Pocínované	150	65
Pokovené jinými materiály	(viz bod 7)	(viz bod 7)
Olej olejových spínacích přístrojů (viz body 9 a 10)	90	50
Pružné kovové části	(viz bod11)	(viz bod 11)
Izolanty a kovové části ve styku s izolanty s následujícími teplotními třídami (viz bod 12)		
Y	90	50
A	105	65
E	120	80
B	130	90
F	155	115
Glazura Olejová	100	60
Syntetická	120	80
H	180	140
C ostatní izolační materiály	(viz bod 13)	(viz bod 13)
Kovové části nebo části z izolačních materiálu, které jsou ve styku s olejem mimo kontaktů	100	60
Přístupné části		
S předpokládaným dotykem během normálního provozu	70	30
S nepředpokládaným dotykem během normálního provozu	80	40

Vysvětlivky pro Tab. 4-1

- Bod 1 - Podlé své funkce může některá část patřit do různých kategorií, uvedených v Tab. 4-1. V tomto případě je hodnota nejvyšší dovolené hodnoty teploty a oteplení je dána nejnižší hodnotou v příslušné kategorii.
- Bod 2 - U vakuových spínacích přístrojů se hodnoty teplot a oteplení nevztahují na části ve vakuu. Ostatní části nesmějí mít teplotu a oteplení vyšší než uvádí Tab. 4-1.
- Bod 3 - Nesmí dojít k poškození okolních izolačních materiálů.
- Bod 4 - Pokud mají součásti kontaktů a spojů různá pokovení, nebo pokud je jedna část bez pokovení, musí dovolené teploty a oteplení:
 - Pro kontakty – odpovídat hodnotám té části, pro kterou jsou dovolené hodnoty podle bodu 1 Tab. 4-1 nejvyšší.
 - Pro spoje – odpovídat hodnotám té části, pro kterou jsou dovolené hodnoty podle bodu 2 Tab. 4-1 nejvyšší.
- Bod 5 – SF₆ značí buď čistý SF₆ nebo směs SF₆ a jiného nekyslíkatého plynu.
- Bod 6 – Kvalita pokovení kontaktů musí být taková, aby vrstva pokovení zůstala na kontaktním povrchu:
 - Po zkouškách spínací schopnosti (pokud jsou předepsány)
 - Po zkouškách krátkodobým výdržným proudem
 - Po zkouškách mechanické trvanlivosti
- Podle příslušných technických požadavků předepsaných v normách výrobků. v opačném případě se musí kontakty posuzovat jako „nepokovené“.
- Bod 7 – Pokud jsou použity materiály, které nejsou uvedeny v Tab. 4-1, musí se posoudit jejich vlastnosti hlavně s ohledem na nejvyšší dovolené oteplení.
- Bod 8 – Hodnoty teplot a oteplení jsou platné i v případě, že vodič připojený ke svorkám nemá pokovení.
- Bod 9 – V horní vrstvě oleje
- Bod 10 – Při použití oleje o nízkém bodu vznícení se bere zřetel na odpařování a oxidaci.
- Bod 11 – Teplota nesmí dosáhnout hodnoty, při níž se snižuje pružnost materiálu
- Bod 12 – Používají se teploty třídy izolace podle IEC 60085.
- Bod 13 – Omezeno pouze požadavkem nezpůsobit poškození okolních částí. [5]

5. UniGear ZS1

Rozváděč UniGear ZS1 je určen pro napětí až do 24kV, jmenovitými proudy 4000A, zkratové proudy 50kA. Jednotlivé panely rozváděče obsahují prostory vybavitelné vypínačem, stykačem nebo odpínačem, případně dalším příslušenstvím. [4]

5.1.1. Popis

UniGear ZS1 je kovově krytý rozváděč vysokého napětí vhodný pro vnitřní instalace. Jednotlivé prostory jsou navzájem odděleny kovovými přepážkami a živé části jsou izolovány vzduchem. Vysoce modulární koncept rozváděče umožňuje jednoduchou volbu komponentů požadovaných jakoukoli aplikací. Funkční jednotky rozváděče zaručují odolnost proti obloukovému zkratu v souladu se standardem IEC 62271-200. Veškeré operace při uvádění do provozu, údržbě a obsluze se mohou provádět z přední strany. Spínací prvky a uzemňovače lze ovládat z přední strany při zavřených dveřích. Rozváděč je možné instalovat zadní stranou ke zdi. [4]

5.2. Použití

UniGear ZS1 je rozváděč s širokou možností použití. Může být využit jako hlavní nebo pomocný rozváděč v rozvodných závodech, elektrárnách, transformátorovnách nebo spínacích stanicích. Díky modulárnímu řešení rozváděče a velkému množství jednotek lze řešit potřeby velké části výrobního odvětví. (papírenský průmysl, stavební průmysl, textilní průmysl, atd.) Díky malým rozměrům, širokému rozsahu přístrojů a ovládacích jednotek, je UniGear vhodný pro námořní a lodní instalace. [4]

5.3. Jmenovité hodnoty

Jmenovité parametry a charakteristické vlastnosti rozváděče jsou zaručeny při následujících podmínkách pracovního prostředí:

Minimální okolní teplota vzduchu: -5 °C

Maximální okolní teplota vzduchu: +40°C

Relativní vlhkost okolního vzduchu:

UniGear ZS1

.....

Maximální relativní vlhkost za dobu 24 hodin nesmí překročit 95%

Maximální tlak vodních par za dobu 24 hodin nesmí překročit hodnotu 2,2 kPa

Maximální relativní vlhkost za dobu jednoho měsíce nesmí překročit 90%

Maximální tlak vodních par za dobu jednoho měsíce nesmí překročit 1,8kPa

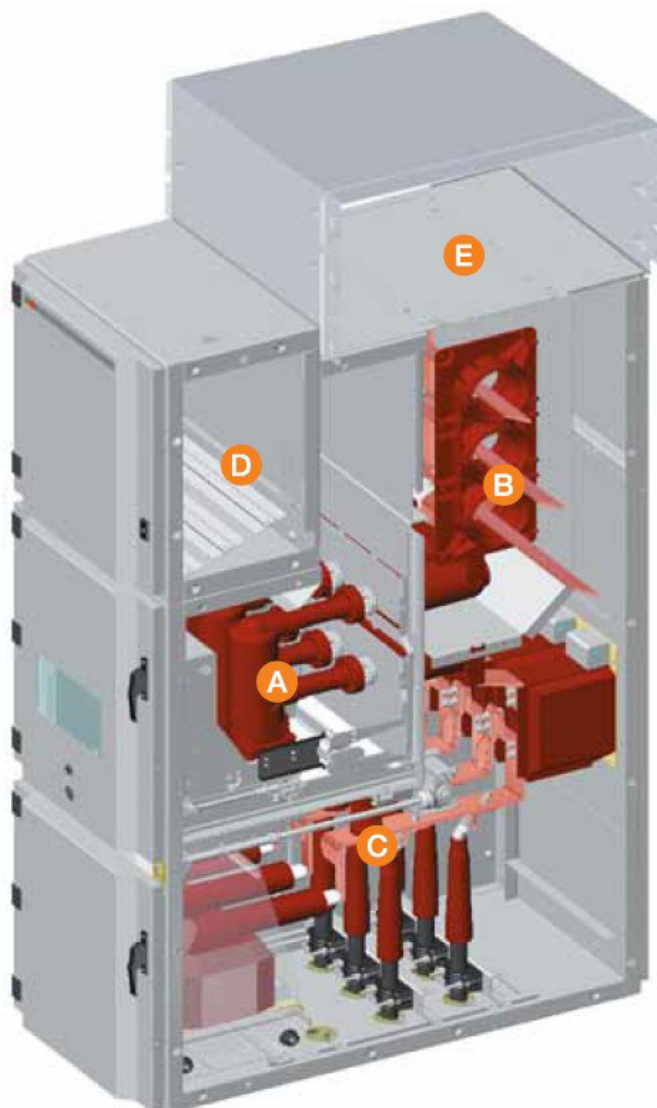
Normální provozní nadmořská výška je do 1000 m nad hladinu moře.

Předpokládaná je normální, nekorozivní a neznečištěná atmosféra v místě instalace rozváděče. [4]

Tab. 4-1 Elektrické charakteristiky UniGear ZS1 – systém s jednoduchou přípojnici [4]

Jmenovité napětí	kV	7,2	12	17,5	24
Jmenovité izolační napětí	kV	7,2	12	17,5	24
Jmenovité krátkodobé výdržné	kV 1min	20	20	38	50
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu	kV	60	75	95	125
Jmenovitý kmitočet	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud	kA 3s	...50	...50	...50	...31,5
Jmenovitý dynamický proud	kA	...125	...125	...125	...80
Výdržný proud při vnitřním obloukovém zkratu	kA 1s	...50	...50	...50	...31,5
Jmenovitý proud hlavní přípojnice	A	...4000	...4000	...4000	...3150
Jmenovitý proud vypínače	A	630	630	630	630
		1250	1250	1250	1250
		1600	1600	1600	1600
		2000	2000	2000	2000
		2500	2500	2500	2300
		3150	3150	3150	2500
Jmenovitý proud vypínače s nucenou ventilací	A	3600	3600	3600	2500
		4000	4000	4000	3150

5.4. Vlastnosti řešení



Obr. 4-1 Pohled na rozváděč UniGear ZS1 [4]

5.5. Prostory

Každá jednotka rozváděče obsahuje tři silové prostory: Prostor vypínače [A], prostor přípojníc [B] a prostor kabelů [C]. Zobrazené na Obr. 4-1. Každá jednotka je vybavena nízkonapětovým prostorem [D] (NN části), kde jsou umístěny pomocné přístroje a zařízení. Rozváděč odolný proti vnitřním obloukovým zkratům je obvykle vybaven odfukovacím kanálem [E] určeným pro odvod spalin, které se vytváří při hoření elektrického oblouku. Pro

odvod spalin jsou k dispozici různé typy kanálů. Všechny prostory jsou přístupné z přední strany a manipulace při provozu i údržbě rozváděče je možná řádně provádět i v případě, že je rozváděč namontován ke zdi. Prostory jsou navzájem odděleny kovovými přepážkami. [4]

5.5.1.Hlavní přípojnice

Prostor přípojníc obsahuje hlavní systém přípojníc, který je k horním izolačním kontaktům vypínače připojen prostřednictvím přípojnícových odboček. Hlavní přípojnice jsou vyrobeny z elektrolytické mědi. Pro jmenovité zatížení přípojníc až do 2500A se používají ploché přípojnice, zatímco pro proudy mezi 3500A a 4000A je použit speciální typ přípojníc s „D“ profilem. Přípojnice jsou kryty izolačním materiálem. U rozváděčů s proudy až do 31,5 kA je po celé délce rozváděče vytvořen jeden přípojnícový prostor, který je možné na požadavek a jako volitelné vybavení rozdělit do několika prostorů. [4]

5.5.2.Připojení kabelů

Prostor kabelů obsahuje systém rozbočení (plochých sběrnic), který je určen pro připojení silových kabelů k spodním kontaktům vypínače. Ploché sběrnice určené pro připojení kabelů jsou vyrobeny z elektrolytické mědi a pokrývají celý rozsah proudů. U rozváděče s napětím 17,5 kV a 24kV jsou tyto odbočky kryty izolačním materiálem. [4]

5.5.3.Uzemňovač

Prostor kabelů je možné vybavit uzemňovačem pro uzemnění kabelů vývodu. Stejně zařízení může být také použito pro uzemnění systému přípojníc (u jednotky měření a jednotky spínače přípojníc). Uzemňovač lze také instalovat přímo na hlavní systém přípojníc ve vyhrazeném prostoru (v přípojnícové aplikaci). Uzemňovač má zkratovou zapínací schopnost. Uzemňovač je ovládán ručně prováděnými manipulacemi z přední strany rozváděče, případně je uzemňovač možné ovládat motorovým pohonem. Poloha (stav) uzemňovače je zobrazena mechanickým indikátorem spojeným s uzemňovačem, který je viditelný z přední strany rozváděče. [4]

5.5.4. Uzemňovací sběrna

Uzemňovací sběrna je vyrobena z elektrolytické mědi a probíhá podél celého rozváděče. Tímto uspořádáním je zajištěna maximální bezpečnost jak osob, tak i vlastní instalace rozváděče. [4]

5.5.5. Izolační průchodky a uzavírací clony

Izolační průchodky v prostoru vypínače jsou sestaveny z kontaktů, které propojují vypínač s prostorem přípojníc, případně s prostorem kabelů. Jedná se o typ jednopólové izolační průchodky z epoxidové pryskyřice. Kovové uzavírací clony se při pohybu vypínače z vysunuté do pracovní polohy aktivují automaticky, a totéž platí i při pohybu vypínače z pracovní do vysunuté polohy. [4]

5.5.6. Kabely

Je možno použít jednožilové a třížilové kabely až do maximálně dvanácti pro fázi v závislosti na jmenovitém napětí, rozměrech jednotky a průřezu kabelu. Rozváděč je možno montovat ke stěně v rozvodně, protože kabely jsou snadno přístupné z přední strany. [4]

5.5.7. Kanál pro výfuk plynu

Kanál pro odvod plynů je umístěn nad rozváděčem a probíhá po celé délce rozváděče. Každý silový prostor je v jeho horní části vybaven klapkou. Tlak vyvolaný poruchou tuto klapku otevře a umožní únik spalín do kanálu. Horké plyny i žhavé částice vyprodukované vnitřním obloukovým zkratem musí být obvykle odvedeny mimo místnost rozváděče. Rozváděč UniGear ZS1 je možné vybavit kompletní sestavou řešení, která splňují všechny požadavky na odvod plynů. To platí pro případ, kdy se jedná o přímý odvod kanálem na konci rozváděče, nebo o případ, kdy je požadováno řešení s odvodem plynů v přední nebo v zadní části rozváděče. U některých instalací, jako jsou například námořní a lodní aplikace, není povolené odvést plyny mimo místnost rozváděče. Z těchto důvodů bylo vyvinuto jednoúčelové řešení, které zajišťuje bezpečnost obsluhy a je ve shodě se standardy. Jedná se například o podélné komíny pro odvod horkých plynů. [4]

5.6. Typové zkoušky rozváděče

5.6.1. Krátkodobý a dynamický (rázový) zkušební proud

Tato zkouška prokazuje, že hlavní silové a uzemňovací obvody odolávají bez jakéhokoli poškození namáhání, které je vyvoláno průchodem zkratového proudu. Předmětem této zkoušky je i systém uzemnění výsuvného vypínače a uzemňovací sběrna rozváděče. Mechanické a elektrické vlastnosti hlavního systému přípojníc a horních i spodních přípojovacích odboček musí odolat i v případě zkratu. [4]

5.6.2. Zkouška oteplení

Provádí se jmenovitým proudem rozváděče. Zkouškou je ověřeno, že se nikde nevyskytuje nadměrná teplota. Během zkoušky rozváděče jsou současně kontrolovány spínací prvky, které mohou být osazeny v rozváděči. [4]

5.6.3. Izolační zkoušky

Tyto zkoušky slouží k ověření, že rozváděč má dostatečnou odolnost proti zkušebnímu napětí atmosférického impulsu a zkušebnímu napětí síťového kmitočtu. [4]

5.6.4. Spínací a vypínací schopnosti vypínače

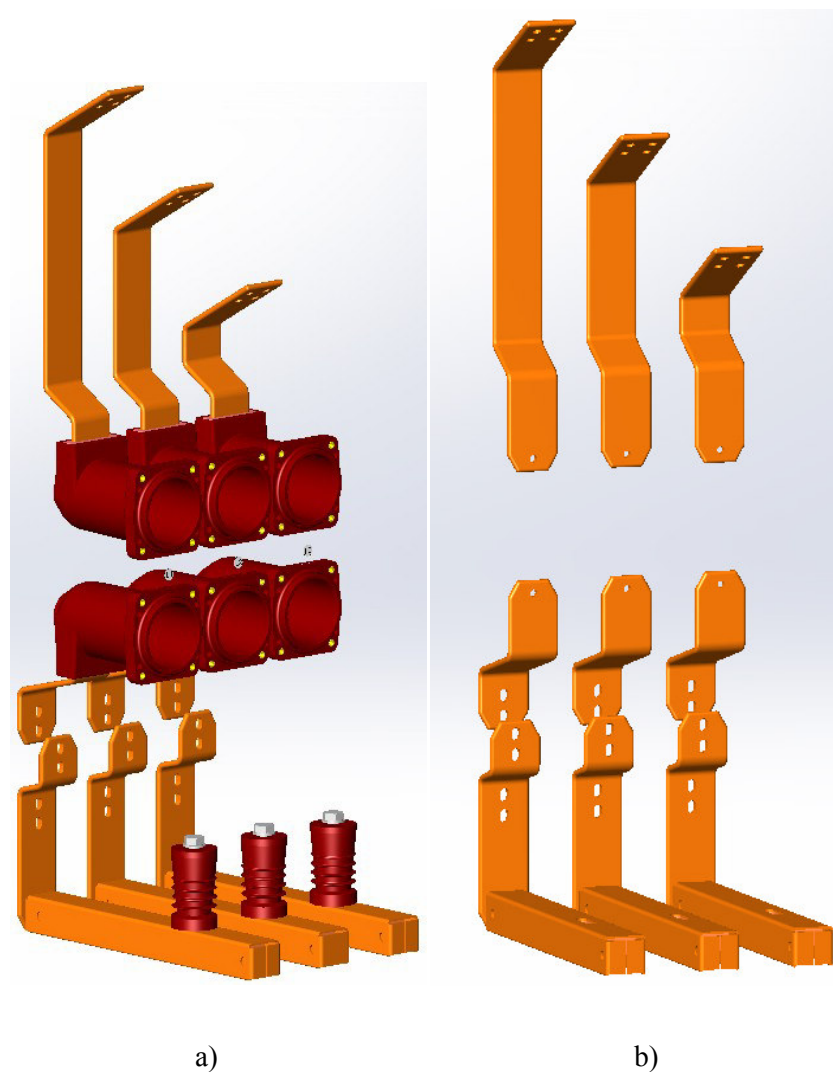
Vypínač a stykač jsou zkoušeny jmenovitým i zkratovým proudem. Jsou zkoušeny i z hlediska spínání a vypínání kapacitních a induktivních zátěží. (kondenzátorové baterie a kabelová vedení) [4]

5.6.5. Spínací schopnost uzemňovače

Uzemňovač je opatřen blokováním, aby jej nebylo možné použít pod napětím. [4]

6. Modelování rozváděče

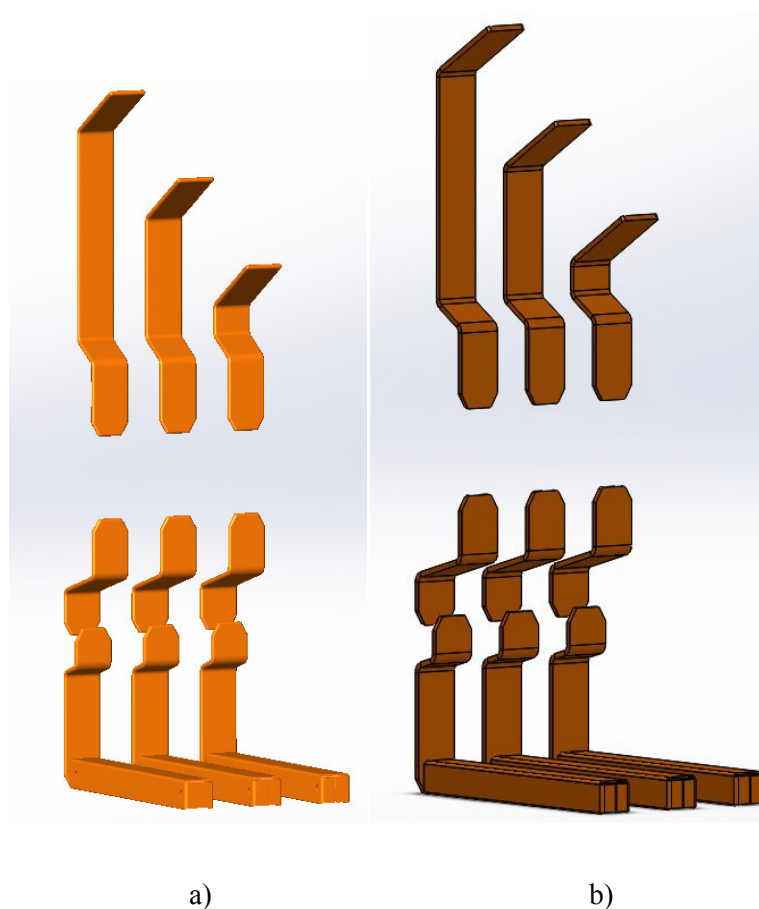
Modelování proudovodné dráhy rozváděče bylo provedeno v programu solidworks.



Obr.5-1 Proudovodná dráha rozváděče se všemi součástmi

Obrázek 5-1 část a) zobrazuje proudovodnou dráhu rozváděče se všemi sousedícími součástmi. Některé části proudovodné dráhy jsou zbytečné a velice nám neovlivní výsledek tepelné analýzy. Proudovodná dráha s odstraněnými zbytečnými částmi je znázorněna na obrázku 5-1 část b). Došlo k odstranění izolátorů, uzemňovací kontakty, izolační kryty.

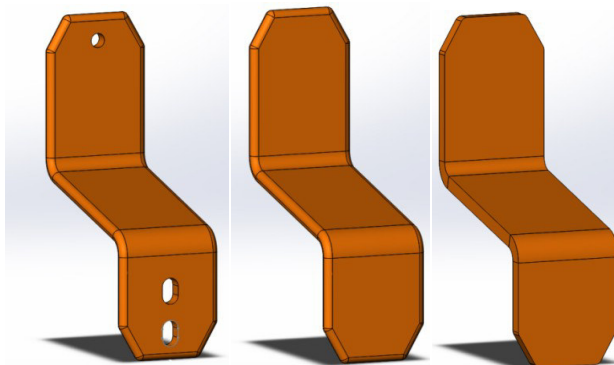
Dalším zjednodušením byly odstraněny všechny mechanické šroubované spoje, podložky, všechny otvory pro tyto mechanické spojení. Tyto spoje a otvory se jeví jako zbytečné a neměli by ovlivnit výpočet. Byly odstraněny otvory pro připojení přípojníc kabelů, přístrojových transformátorů napětí a přístrojového transformátorů proudu. Takto zjednodušená proudovodná dráha rozváděče je zobrazena na obrázku 5-2.



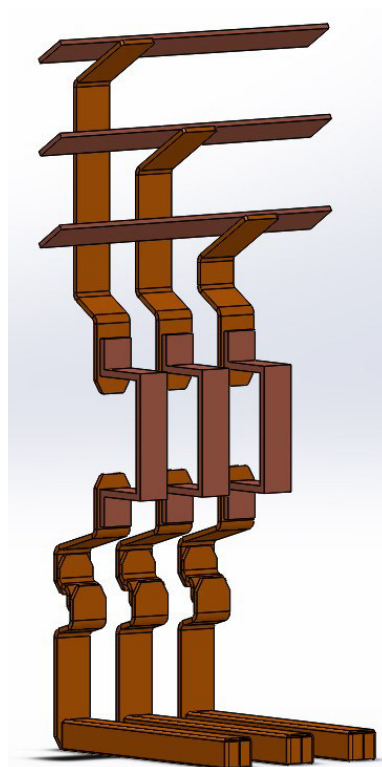
Obr. 5-2 Zjednodušená proudovodná dráha

Jako další zbytečnosti se jeví zaoblení součástí. Tyto zaoblení nemají přílišný vliv na výpočet. Proudovodná dráha s odstraněnými zaoblenými součástmi je zobrazena na obr. 5-2 část b). Na Obr. 5-3 je zobrazen postup zjednodušení součástí

Pro kompletnost proudovodné dráhy musí být nahrazeny elektrické přístroje (např. vypínač) zjednodušenou proudovodnou dráhou, která nám tento prvek nahradí. Kompletní proudovodná dráha je znázorněna na Obr. 5-4.



Obr. 5-4 Postup zjednodušení součástí



Obr. 5-5 Kompletní proudovodná dráha rozváděče

Modelování rozváděče

U simulace tepelné sítě rozváděče se uvažuje s těmito zjednodušeními, protože nemají příliš velký vliv na výsledek analýzy. Větší vliv na simulaci budou mít zjednodušení přístrojů, kterými je rozváděč osazen.

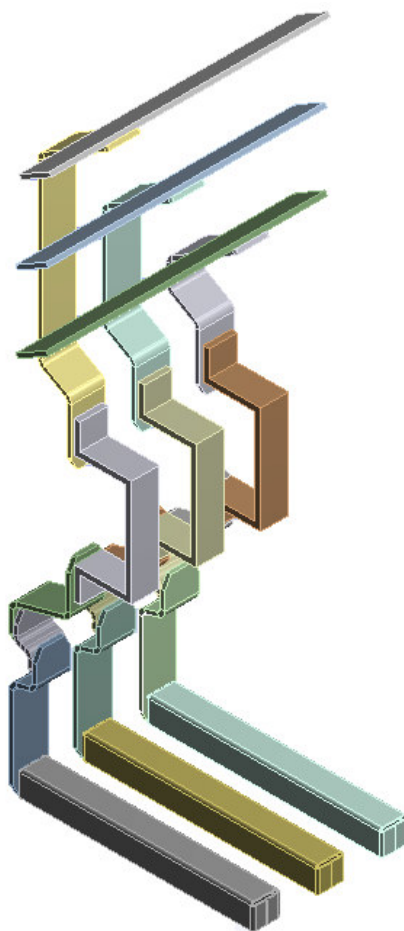
Materiál všech součástí proudovodné dráhy je uvažovaný jako elektrovodná měď.

7. Výpočet tepelné sítě rozváděče

Výpočet tepelné sítě rozváděče byl proveden pomocí programu ANSYS Workbench 14.5.

7.1. Příprava pro výpočet tepelné sítě

7.1.1.importování geometrie rozváděče, definování materiálů



Obr. 6-1 Geometrie rozváděče

Na obrázku 6-1 je znázorněna importovaná proudovodná dráha rozváděče umístěna v rozváděči do programu ANSYS. Rozváděč je modelovaný jako kvádr o tloušťce odpovídající tloušťce reálného rozváděče.

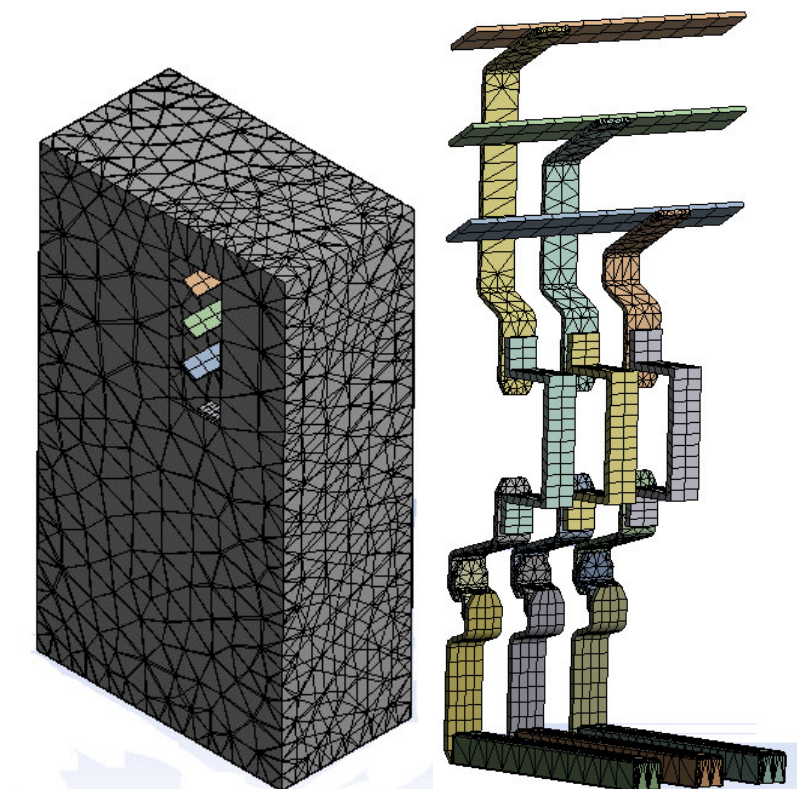
Všechny součásti a zjednodušené proudové dráhy přístrojů jsou vyrobeny z elektrovodné mědi. Rozváděč je umístěný ve vzduchu. Vlastnosti elektrovodné mědi, které jsou potřebné pro výpočet tepelné sítě, jsou uvedeny v tabulce Tab. 6-1.

Tab. 6-1 Vlastnosti elektrolytické mědi

Veličina	Elektrovodná měď
$\rho_h (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	8990
$\lambda (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1})$	393
$c (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{L}^{-1})$	0,385
$\rho_r (\Omega \cdot \text{m})$	$17,24 \cdot 10^{-9}$

7.1.2. Vytvoření výpočetní sítě

Na obrázku Obr. 6-2 je zobrazena vygenerovaná výpočetní síť. Program ANSYS rozdělí geometrii uzly a elementy, které vytvoří výpočetní síť. Vytvořená síť obsahuje 59284 uzlů a 28616 elementů.



Obr. 6-2 Vygenerovaná výpočetní síť

7.1.3. Výpočet tepelné sítě rozváděče

Simulace oteplení proudovodné dráhy byla provedena konstantním jmenovitým proudem 2000A. Program ANSYS získává vnitřní generované teplo z úbytku napětí a proudu.

7.1.4. Odvod tepla do okolí

V reálném rozváděči dochází k odvodu tepla do okolí všemi způsoby vedení tepla. Vedením, prouděním a v malé míře sáláním. V rozváděči dochází k vzniku přirozeného proudění vzduchu, kdy ohřátý teplý vzduch proudí a vstupuje k horním větracím otvorům. V této simulaci však neuvažujeme přestup tepla prouděním a sáláním. Uvažujeme přestup tepla pouze vedením. Součinitel přestupu tepla pro konvenci byl nastavován v rozmezí $5\text{--}25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

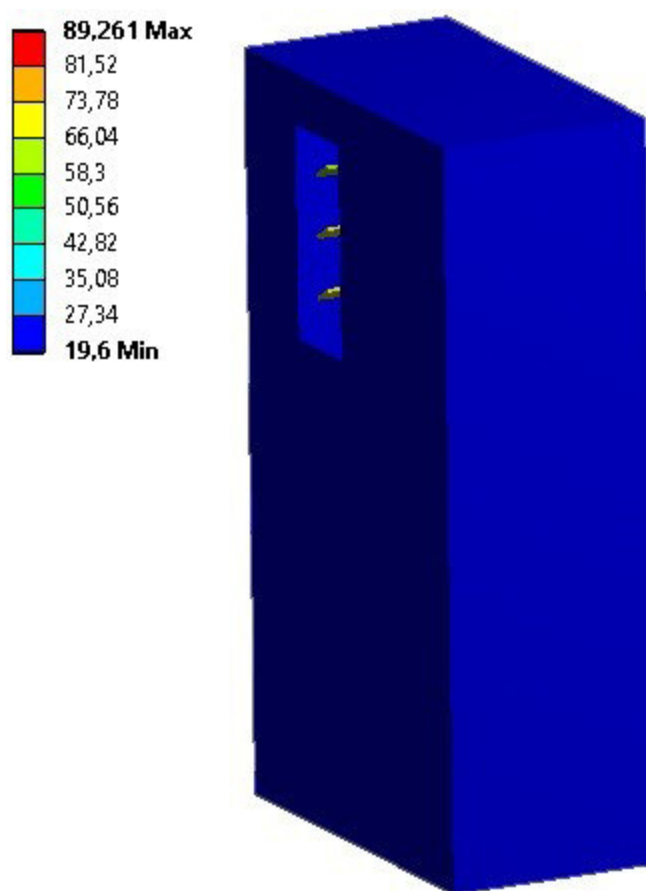
7.2. Tepelný výpočet

7.2.1. Počáteční podmínky

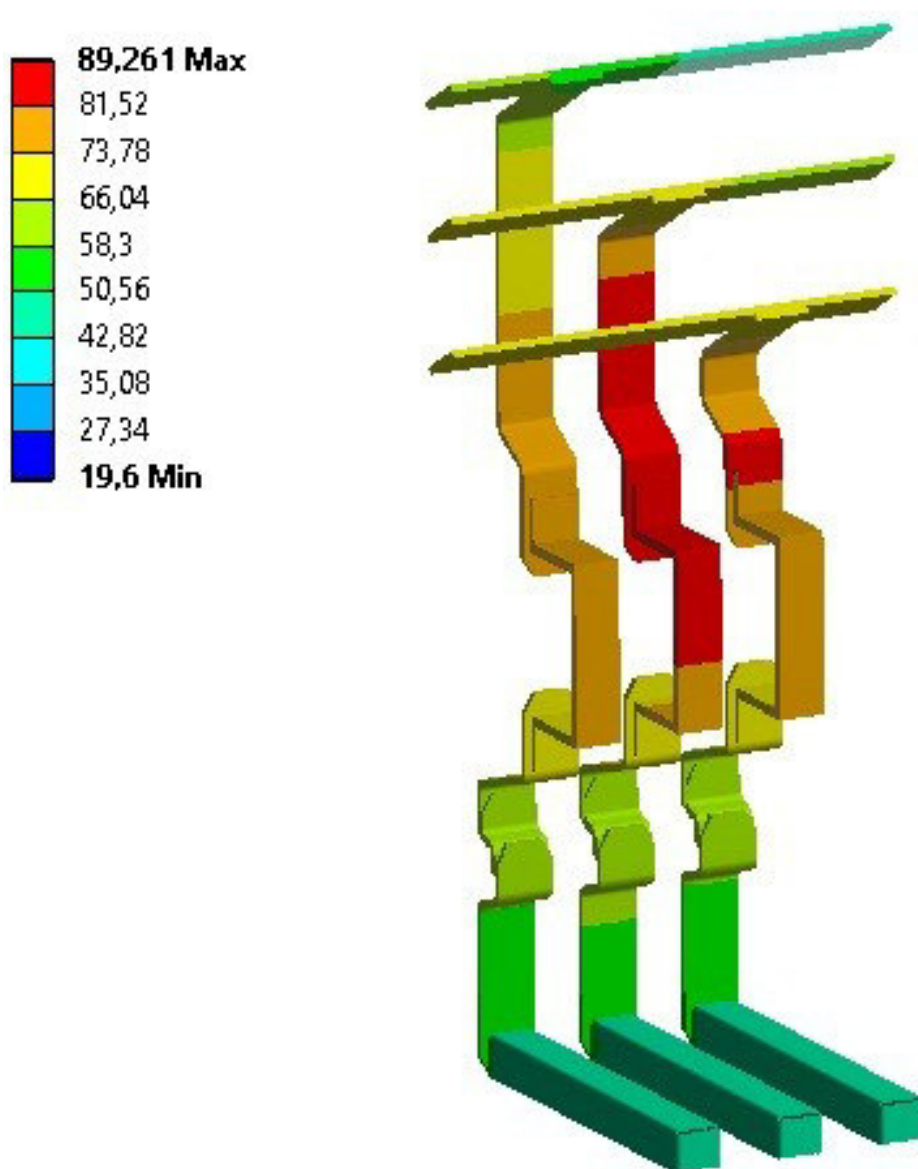
Jako počáteční podmínka byla nastavena teplota okolí $19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, protože při této teplotě byla provedena experimentální měření. Jmenovitý proud protékající proudovodnou dráhou byl 2000A. Součinitele přestupu tepla byly nastaveny v rozmezí $5\text{--}25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

7.2.2. Výsledky simulace oteplení proudovodné dráhy

Na obrázku Obr. 6-3 je zobrazen výsledek výpočtu tepelné sítě rozváděče. První část obrázku ukazuje barevnou stupnici mezi minimální a maximální teplotou. Druhá část znázorňuje skříň rozváděče a jeho následné oteplení. Maximální teplota celého systému rozváděče je 89,3°C.

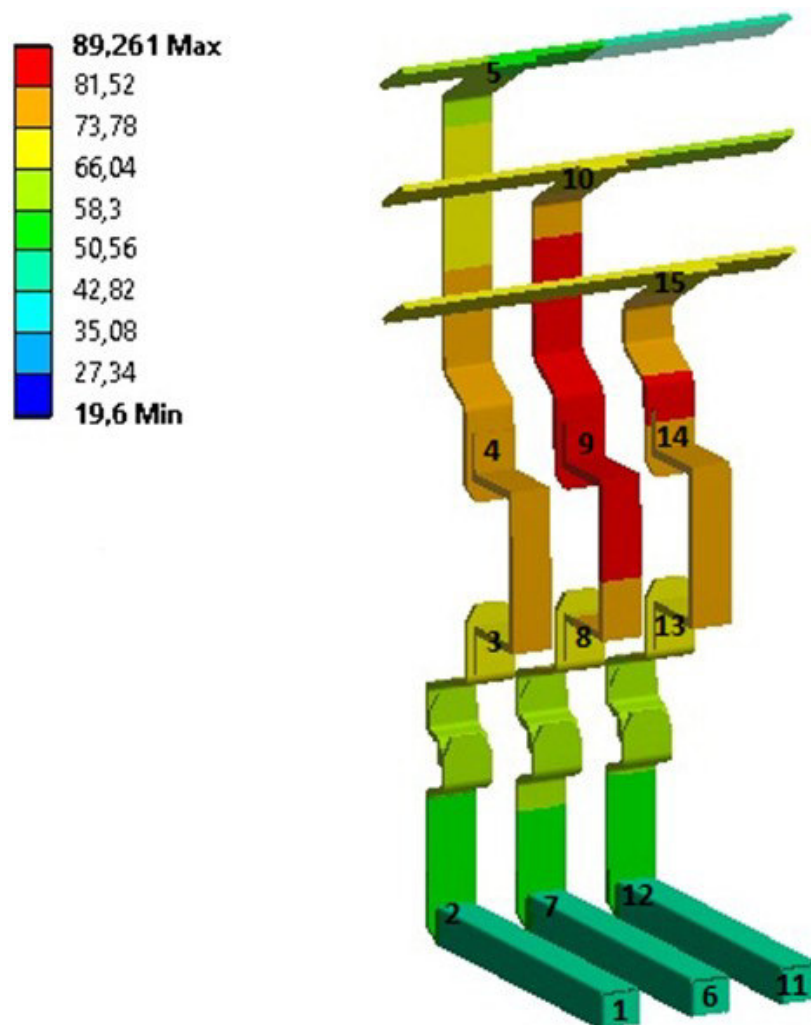


Obr. 6-3 Výsledek tepelné simulace celého rozváděče



Obr. 6-4 Výsledek tepelné simulace celého rozváděče

Na obrázku Obr. 6-4 je zobrazený výpočet oteplení proudovodné dráhy. Minimální teplota proudovodné dráhy je 43,5 °C maximální teplota proudovodné dráhy je 89,3°C.



Obr. 6-5 Umístění měřících čidel

Na obrázku Obr. 6-5 jsou čísla označena místa, kde jsou připojena měřící čidla teploty. V tabulce 6-2 jsou uvedeny naměřené teploty, změřené měřícími čidly.

Výpočet tepelné sítě rozváděče

Tab. 8-2 Maximální hodnoty jednotlivých čidel

čidlo	teplota	čidlo	teplota	čidlo	teplota
1	43,5 °C	6	43,8°C	11	43,5°C
2	50,2°C	7	50,8°C	12	50,2°C
3	69,3°C	8	72,4°C	13	69,6°C
4	80,8°C	9	82°C	14	81,6°C
5	64°C	10	77,6°C	15	77,5°C

Z tabulky je zřejmé, že nejméně se budou oteplovat dolní přípojnice a teplota pozvolna vzrůstá. Největší teplota se nachází v místech zjednodušené proudovodné dráhy vypínače, poté teplota směrem k horním přípojnícím klesá.

8. Porovnání vypočítané tepelné sítě s reálnými teplotami

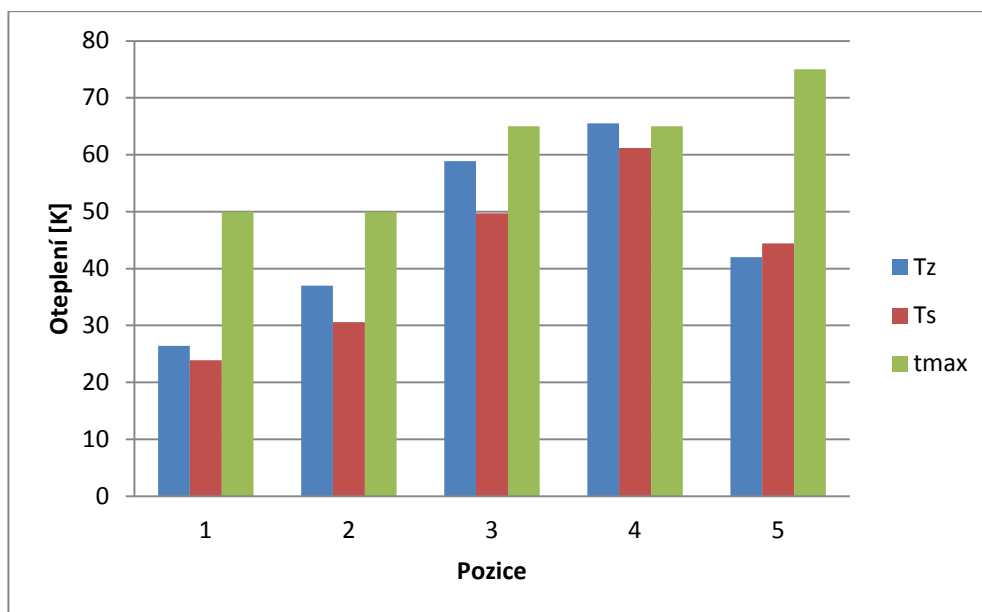
Tab.8-1 Porovnání mezi vypočtenými a experimentálně změřenými otepleními

Pozice	Tz	Ts	tmax	δ (%)
1	26,4	23,9	50	10,5
2	37	30,6	50	20,9
3	58,9	49,7	65	18,5
4	65,5	61,2	65	7,0
5	42	44,4	75	5,4
6	28	24,2	50	15,7
7	37,6	31,2	50	20,5
8	61,1	52,8	65	15,7
9	61,6	62,4	65	1,3
10	45,2	58	75	22,1
11	26,1	23,9	50	9,2
12	35,1	30,6	50	14,7
13	58,3	50	65	16,6
14	55,9	62	65	9,8
15	44	57,9	75	24,0
			Průměrná chyba	13,2

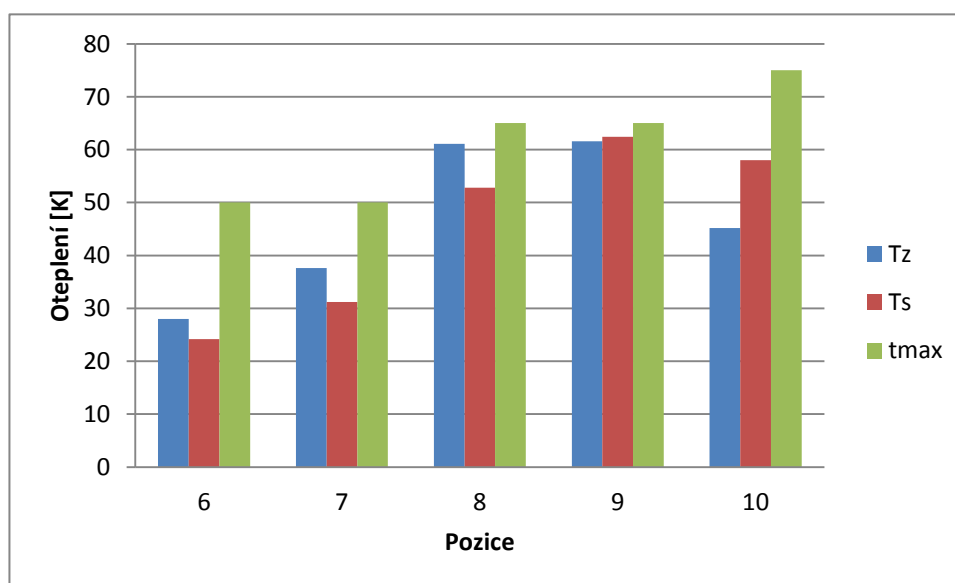
V tabulce Tab.8-1 jsou uvedeny hodnoty oteplení získané výpočtem, hodnoty oteplení získané experimentálním měřením, maximální dovolené oteplení, chyba mezi naměřenými a vypočítanými oteplením.

Oteplení ani v jednom místě nepřesáhlo dovolené oteplení. Dále jsou uvedeny relativní chyby pro každé měřené místo. Průměrná chyba je 13,2%. Tato chyba je velká, je způsobena zjednodušením vypínače a měřících transformátorů. Podrobnějším modelem, by se chyba do značné míry zmenšila. Velice důležitým faktorem ovlivňující výsledek výpočtu je volba součinitelů přestupu tepla. Odhadnutí součinitelů přestupů tepla je velice složité. Každá volba součinitele přestupu tepla zásadně ovlivní tepelný výpočet. Na základě experimentálně změřených hodnot by se daly přestupy tepla nastavit přesněji a výpočetní model by tak více odpovídal skutečnosti. S takto odvozenými přestupy tepla by se budoucí výpočty mohly provádět s vyšší přesností. V mém případě byly měřené hodnoty poskytnuty až po provedení výpočtu.

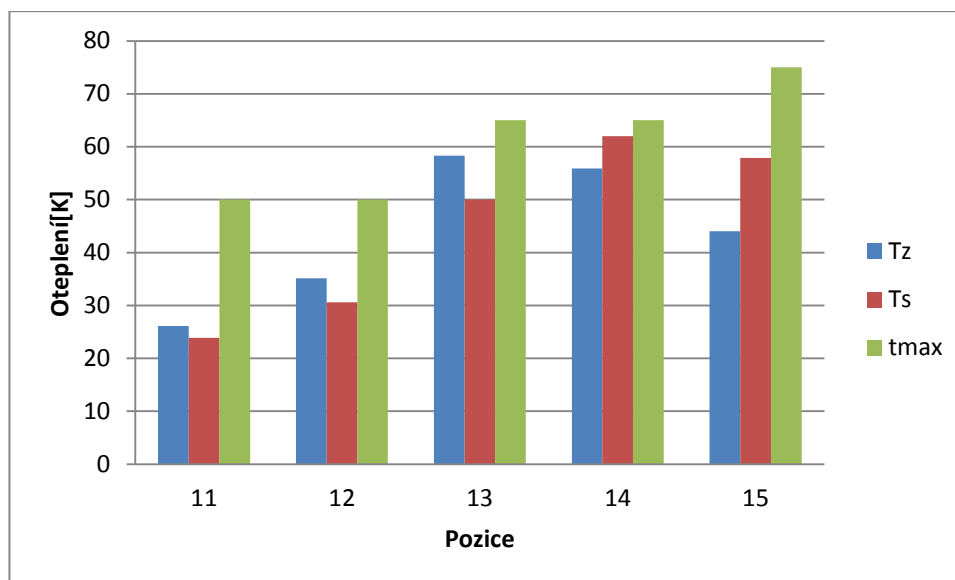
Porovnání vypočítané tepelné sítě s reálnými teplotami



Obr. 8-1 Srovnání oteplení v místech 1 až 5



Obr. 8-2 Srovnání oteplení v místech 6 až 10



Obr. 8-3 Srovnání oteplení v místech 11 až 15

9. Závěr

Rozváděč, pro který byl tepelný výpočet sestaven je rozváděč společnosti ABB s.r.o. typu UniGear 24kV, 2000A, 25kA. V práci je popsáno jeho použití, technologické uspořádání, jmenovité charakteristické hodnoty, izolace a krytí.

Při modelování proudovodné dráhy došlo k určitým zjednodušením a zanedbáním. Těmito zjednodušeními byli náhrady spínacích a měřicích přístrojů jednoduchou proudovodnou dráhou, kdyby nedošlo k těmto zjednodušením, jednalo by se o nesmírně složitý model, který by vydal za několik diplomových prací. Výpočet takového modelu by na klasickém počítači trval desítky hodin možná i dnů. Dalšími zjednodušením bylo odstranění všech šroubů a spojů, odstranění otvorů pro tyto spoje a odstranění zaoblených částí. Tyto zjednodušení nemají zásadní vliv na výsledek výpočtu, ale podstatně zrychlí rychlost výpočtu. Takto zjednodušená proudovodná dráha byla umístěna do zjednodušeného modelu rozváděče. Zjednodušený rozváděč byl uvažovaný jako dutý kvádr s tloušťkou stěn odpovídající reálnému modelu. Všechny nadefinované materiály byly použity podle reálného rozváděče.

Vypočítané hodnoty se poněkud liší oproti naměřeným hodnotám. Průměrná chyba dosáhla 13%. Tato chyba je způsobena zjednodušeními vypínače a přístrojového transformátoru proudu. Na chybě se zásadně podílely i nastavené přestupy tepla. Nastavení správných přestupů tepla bez zkušeností je velice složité. Výpočet by byl přesnější, kdyby před výpočtem byli k dispozici experimentálně naměřené hodnoty a na základě těchto teplot by se nastavily součinitele přestupu tepla. Poté by model přesněji vystihoval skutečnost. S takto získanými součiniteli přestupu tepla by budoucí modely byly přesnější.

Literatura

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [2] ARTBAUER, Otto. *Tepelný výpočet elektrických přístrojů*. 1. vyd. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1963, 190 s. Dočasné vysokoškolské učebnice.
- [3] HAVELKA, Otto. *Stavba elektrických přístrojů I*. 1. vyd. Brno: VUT, 1984, 262 s. Učební texty vysokých škol.
- [4] ABB s.r.o. *UniGear typ ZS1* (online). 2013 [cit. 2015-11-15] Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/0d7a8430a68945f4c1257de0004f8b19/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_cz.pdf?filename=Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_cz.pdf
- [5] VÁVRA, Zdeněk, Vladimír NOVOTNÝ a Zdeněk VOSTRACKÝ. *Stavba elektrických přístrojů II: určeno pro posl. fak. elektrotechn.* 1. vyd. Brno: VUT, 1985, 243 s. Učební texty vysokých škol.
- [6] ČSN EN 62271-200 ed.2 – *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – část 200: kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1kV do 52kV*